



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Tõnis Klaasmägi

**ERINEVATE MAAKASUTUSVIISIDE MÕJU TURVAS- JA
ERODEERITUD MULDADE KVALITEEDILE KASUTADES
VISUAALSET HINDAMIST**

**THE EFFECT OF DIFFERENT LAND USE ON PEAT- AND
ERODED SOILS QUALITY USING SOIL VISUAL
EVALUATION**

Bakalaureusetöö

Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendaja: Endla Reintam, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Tõnis Klaasmägi		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Erinevate maakasutusviiside mõju turvas- ja erodeeritud muldade kvaliteedile kasutades visuaalset hindamist			
Lehekülgi: 45	Tabeleid: 7	Jooniseid: 6	Lisasid: 0
Osakond: Põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Mullateaduse õppetool			
Uurimisvaldkond: Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia (B410)			
Juhendaja: Endla Reintam, <i>PhD</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Põllumajanduse jätkusuutlikuse tagamiseks peab muldade kasutamisel säilima nende kvaliteet. Eriti ohustatud on intensiivse kasutuse korral turvas- ja erodeeritud mullad, mille harimisel on eelmainitud mullad vastuvõtlikud pinnase erosioonile ning intensiivsele orgaanilise aine mineralisatsioonile. Bakalaureusetöö eesmärk oli uurida kuidas on maakasutuse muutuse tagajärjel, kui intensiivne harimine on asendatud rohumaaga, muutunud turvas- ja erodeeritud muldade kvaliteet. Töös on kasutatud kolme põllu paari võrdlust, kus kaks võrdlust on turvasmuldadel ning üks võrdlus erodeeritud muldadel. Mulla kvaliteedi hindamiseks on kasutatud rahvusvahelise projekti „Interaktiivne mulla kvaliteedi hindamine Euroopas ja Hiinas põllumajandusliku tootlikkuse ja keskkonna jätkusuutlikkuse tagamiseks (iSQAPER)“ raames välja töötatud mulla kvaliteedi visuaalse hindamise juhendit. Visuaalse hindamise kontrolliks on lisaks läbi viidud ka mullaproovidest laborianalüüsid. Uurimustöös leiti, et parema kvaliteediga muld oli kõikides võrdlustes rohumaadel. Rohumaade mullas oli keskmiselt 16,48% ja haritavatel maadel 4,79% orgaanilist süsinikku. Vees stabiilseid agregate oli rohumaadel 69,09% ja haritavatel põldudel 48,66%. Üldine poorsus oli rohumaadel keskmiselt 11,84% kõrgem kui haritavatel maadel. Lisaks oli rohumaadel keskmine maksimaalne veehoiuvõime 20,53% suurem kui põldudel, keskmine lasuvustihedus 47,08% madalam, keskmine üldlämmastiku sisaldus 171,70% kõrgem ja keskmine C/N suhe 27,92% laiem. Usutavalt väiksem penetromeetiline takistus oli sügavusel 25-50 cm. Mulla kvaliteedi kiireks</p>			

hindamiseks saab kasutada mulla visuaalset hindamist, mis eeldab aga pikaajalist praktikat ja kogemust selle läbi viimisel ning arvestamist ilmastiku ning mullaniiskuse oludega. Samas, mitte kõikide parameetrite määramine ei ole kõigile kättesaadav ning nõuab spetsiaalseid vahendeid (penetromeetriline takistus, pH, liikuv Corg), kuid teisi parameetreid, nagu struktuursus, tihese olemasolu jms on võimalik mulla kvaliteedi hindamiseks kasutada.

Märksõnad: orgaaniline süsinik, rohumaa, künd

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Tõnis Klaasmägi		Speciality: Production and marketing of agricultural products	
Title: The effect of different land use on peat- and eroded soils quality using soil visual evaluation			
Pages: 45	Tables: 7	Figures: 6	Appendixes: 0
Department: Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Soil Science Field of research: Soil science, agricultural hydrobiology (B410) Supervisors: Endla Reintam, <i>PhD</i> Place and date: Tartu 2018			
<p>To ensure sustainable agriculture it is important to maintain soil quality. In intensive cultivation of peat and eroded soils there are risks of soil erosion and organic matter mineralisation. The purpose of this bachelor thesis is to study how soil quality has changed in peat and eroded soils when intensive cultivation is replaced with grassland. There are three comparisons used in this study: two on peat soils and one on eroded soil. In order to evaluate soil quality international project „Interactive Soil Quality assessment in Europe and China for Agricultural productivity and Environmental Resilience (iSQAPER)“ is used as an instruction for visual evaluation of soil. Additionally, to verify visual evaluations of soil laboratory analyzes from samples of soil were conducted. In conclusion, the study showed that soils covered with grass had better quality of soil. Soils covered with grass had on average 16,483% and cultivated soils had on average 4,787% organic carbon. Grassland soils had on average 69,087% and cultivated soils had on average 48,657% of soil stable aggregates in water. Soil porosity was on average 11,84% higher on grasslands than on cultivated fields. Grasslands maximum water capacity was 20,53% higher, average bulk density was 47,08% lower, average nitrogen content was 171,70% higher and average C:N ratio was 27,97% higher. Believably smaller penetration resistance was on grasslands in depth of 25–50 cm. It is possible to use visual evaluation for quick evaluation of soil quality although visual evaluation requires experience and also soil moisture content can affect the results. Unfortunately, not all visual evaluation of soil</p>			

indicators are available for everyone (penetration resistance, pH, labile organic carbon) but other indicators like structure, soil compaction etc. can be used to evaluate soil quality.

Keywords: organic carbon, grassland, plowing

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	10
1.1. Turvasmuldade kasutamine	10
1.2. Erosioon.....	11
1.3. Mulla kvaliteet.....	12
1.4. Visuaalne hindamine	14
1.5. Inimtegurid mulla mõjutajana	15
1.6. Keskkonnasõbralikud praktikad rohumaa viljeluses	16
2. Materjal ja metoodika.....	19
3. UURIMUSTÖÖ TULEMUSED	23
3.1. Visuaalse hindamise tulemused.....	23
3.2. Penetromeetriline takistus.....	26
3.3. Mullaproovide tulemused.....	29
3.3.1. Füüsikalised omadused.....	29
3.3.2. Keemilised ja bioloogilised omadused	31
4. ARUTELU	35
KOKKUVÕTE	39
KASUTATUD ALLIKAD	41

SISSEJUHATUS

Põllumajanduslikus tootmises on palju valikuid, ühed neist võivad olla rahalises mõttes ahvatlevamad, teised jällegi paremad keskkonna jaoks. Kuna põllumajandus peab olema jätkusuutlik, tuleb praeguste otsustega kaugemale tulevikku vaadata. Põllumajandusliku tootmise juures on oluline säilitada muldade kvaliteet ja viljakus, korraliku ja hästi läbimõeldud külvikorra, väetamise ja harimissüsteemi kasutamisel võivad paraneda nii mulla produktiivsus ja suureneda mulla orgaanilise süsiniku varu, mille tulemusel väheneb atmosfääris CO₂ kontsentratsioon (Lal, Follett 2009). Kvaliteetne muld tagab bioloogilise produktsiooni ja keskkonna kvaliteedi, millest sõltub kogu ökosüsteem. Mulla kvaliteeti parandavateks meetmeteks on, näiteks, viljavahelduse kasutamine, otsekülv, orgaaniliste väetiste kasutamine ja vahekultuuride kasvatamine. Mulla kvaliteet sõltub paljudest teguritest ja seda iseloomustavad erinevad näitajad. Üks peamisi näitajaid on mulla orgaanilise aine sisaldus ning süsiniku sisaldus (Plaza, Bonilla et al. 2014). Mulla orgaanilisest ainest keskmiselt 58% on süsinik (Lal 2004). Põldu haritakse üha suuremate ja raskemate masinatega, millega kaasneb oht muldade tihenemiseks, mida iseloomustab mulla lasuvustiheduse tõus. Mulla orgaaniline süsinik on seotud mulla agregaatide võimega vastu panna tihenemisele, erosioonile ja vee äravoolule (Lal et al. 2007). Võimalike ohtude ja juba olemasolevate probleemide hindamiseks ning tuvastamiseks saab kasutada erinevaid muldade kvaliteedi näitajaid, mida on võimalik hinnata nii visuaalselt kui ka laboratoorsete meetodite ning seeläbi otsustada, mida on võimalik teha, et mulla kvaliteeti parandada.

Suuri probleeme tekitab muldade intensiivne kasutamine, mis vähendab mulla orgaanilise aine sisaldust. Mullas on 75% maismaal seotud süsinikust (Euroopas hävineb... 2017), mis intensiivsel harimisel sealt õhku satub, eriti tundlikud on turvasmullad, kus on orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldus on vähemalt 20% (Soostunud ja... 2012). Kuna turvasmullad on põllumajanduslikuks kasutamiseks halvema kvaliteediga kui mineraalmullad on eelistatud kasutada neid pikaajaliste rohumaadena. Turvasmuldadest enamus kannatavad kaaliumipuuduses ning nende fosforiga varustatus on oluliselt halvem kui põllumaadel tervikuna, lisaks on turvasmuldade Mn sisaldus madal ehk alla 75 mg kg⁻¹ ja Cu sisaldus jäi

alla taimedele vajaliku optimumi ($<1,5 \text{ mg kg}^{-1}$) (Erodeeritud ja... 2015). Turvasmuldade kasutamisel pikaajalise rohumana väheneb turba lagunemine, kuna ei ole vajadust pidavalt uut kultuuri rajada ning sellega seoses mullaharimistöid teha. Perioodil, kus üks kultuur on koristatud, aga järgmine pole veel rajatud, on maapind taimkatteta. Vee erosioon leiab aset ebatasastel aladel, põhiliselt taimkatteta muldadel, kus voolav vesi mullaosakesed kaasa haarab (Eesti maaelu... 2017). Teise probleemina on taimkatteta mulla puhul toitainete leostumine sademete veega põhjavette. See toimub sademete rohkel perioodil kui puudub taimkate, mis toitaineid aktiivselt omastaks ja seoks.

Et motiveerida maa kasutajaid mulda säästvalt tegutsema, on olemas piirkondlik mullakaitse toetus, mille eesmärgiks on tagada, et erodeeritud ja turvasmuldade kasutamine oleks jätkusuutlik ning, et muldade degradatsioon oleks minimaalne. Täpsemateks eesmärkideks on kasvuhoonegaaside emissiooni piiramine, mullaerosiooni (sh deflatsiooni) vähendamine, toitainete leostumise piiramine ning mulla orgaanilise aine sisalduse säilitamine ja suurendamine. Toetus suunab keskkonnasõbraliku majandamise toetuse saajaid oma turvas- ja erodeeritud muldadega põldude intensiivse harimise asemel leidma alternatiivseid mulda säästvaid kasutusvõimalusi (Eesti maaelu... 2017).

Hüpoteesid:

- 1) Keskkonnasõbralike praktikate kasutamine parandab mulla kvaliteeti võrreldes tavapraktikatega. Keskkonnasõbraliku praktikana antud töö raames käsitletakse turvas- ja erodeeritud muldadel maa rohttaimedega katmist. Võrdluseks kasutatakse künnipõhist harimist põllukülvikorras.

Lähtuvalt hüpoteesist on antud töö eesmärgiks uurida:

- 1) Kuidas mõjutab mulla kvaliteeti turvas- ja erodeeritud muldade jätmine püsitaimekatta alla.
- 2) Kas visuaalne mulla omaduste hindamine annab adekvaatse ülevaate mulla seisundist võrreldes laboris tehtud määramistega.

Töö autor avaldab suurt tänu juhendaja Endla Reintamile, kes oli bakalaureusetöö koostamisel suureks abiks. Uurimistöö on valminud Euroopa Liidu Horizont 2020 teaduse ja innovatsiooni grant Nr 635750 iSQAPER toel.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Turvasmuldade kasutamine

Eestis on märkimisväärne osa põllumajanduseks kasutatavast maast turvas- ja erodeeritud muldadel. Erodeeritud ja deluviaalmuldade kompleks moodustab 5,5%, ja turvasmullad moodustavad 7,9% põllumajandusmaast (Allik 2016). Antud muldadega esineb kasutamisel aga mitmeid probleeme ja ohte, mis meie keskkonda ohustada võivad. Eelmisel sajandil toimusid Eestis väga ulatuslikud maaparandustööd, mis suures osas tähendas kuivendussüsteemide rajamist. Eestis oli 2011. aasta seisuga 1,33 miljonit hektarit kuivendatud maad, millest 644538 ha moodustas põllumaa (Lemetti et al. 2011). Tänu kraavide ja drenaažide rajamisele saadi juurde suur hulk põllumajanduseks sobivat maad. Kui maa kuivendatakse ja seda haritakse, hakkab kiiremini lagunema mulla orgaaniline aine, mis omakorda tähendab, et kunagi taimede poolt mulda seotud süsinik satub taas õhku. Viimase 25 aastaga on umbes kolmandik turvasmuldadest kaotanud, peamiselt mullaharimise tõttu, oma turbahorisondi tuseduses nii palju, et Eesti muldade klassifikatsioonis ei saa neid määratleda enam kui turvasmuldi, vaid enamasti kui turvastunud muldi ja teatud juhtudel (Corg sisaldus alla 5%) juba kui gleimuldi (Soostunud ja... 2012). Mõõtmistulemustena on selgunud, et keskmiselt laguneb aastas turvast 5mm karjatamisel, 10mm rohumaadel, kus tehakse heina, 10–20mm teravilja kasvatamisel ja 20–30mm intensiivselt haritavate kultuuride korral, näiteks porgandi ja kartuli puhul (Kasimir-Klmedtsson et al .1997, Berglund 1989). Soomes tehtud katsete mõõtmistulemused turvasmuldadel näitasid, et odrapõllul eraldus aastas $2.54\text{--}2.68\text{ m}^{-2}$ ja rohumaal $1.06\text{--}1.32\text{ m}^{-2}$ süsinikdioksiidi aastas (Maljanen et al. 2004). Selge seos on leitud CO_2 ja N_2O emissioonil temperatuuri ja mulla niiskusega, kus suvel kõrgete temperatuuride korral eraldus suurim ja talvel, madalate temperatuuride korral väikseim kogus kasvuhoonegaase (Taft et al. 2017). Turba intensiivse lagunemise pidurdamiseks tuleks kaaluda turvasmuldade ektstensiivset maakasutust.

1.2. Erosioon

Eestis on vee-erosioonist ohustatud muldade kasutamine põllumaana üsna väike, täpsemalt 7184 ha, moodustades vaid 0,75% kogu põllumajanduseks kasutatavast maast. Tuule erosioonist ohustatud muldi on Eestis kasutusel pindalalt palju rohkem. Liivmuldi on kasutusel ca 18 500 ha ja turvasmuldi ca 3800 hektarit ehk kokku umbes 22 300 hektarit, mis moodustab 2,33% kasutusel olevast põllumajandusmaast (Köster et al. 2008).

Muldade erosiooni tagajärjel halvenevad mulla omadused ja väheneb viljakus, selle tulemuseks on kasvatatavate kultuuride saagi langus ja oht keskkonnareostusele ära kantud mullaosakeste näol. Erosiooni tagajärjel väheneb mulla orgaanilise aine ja toitainete sisaldus. Erosiooniohtlikel muldadel on võimalik erinevate harimissüsteemide ja kultuuride valikuga vähendada toitainete ära kannet, mille abil paraneb muldade viljakus ning väheneb vajadus väetada (Kull 2005).

Mulla ära kanne ehk erosioon saab toimuda kas tuule või vee abil. Erodeeritud muldade puhul on suur oht, et taimkatteta perioodil allub muld kergesti vee ja tuule erosioonile, selleks sobivad tingimused on tavaliselt kevadel ja sügisel, kui on suur hulk sademeid või on väga kuiv ja maapinda ei kata taimed. Vee erosioonile vastuvõtlikumad on suure liiva ja tolmu sisaldusega, vähese taimkattega, kivised ja suurte kallakutega mullad (Rodrigo Comino 2016). Tuule erosioon sõltub peamiselt mulla lõimisest, ohustatud on suure liiva sisaldusega mullad kuival perioodil.

Muldade erosiooni tundlikkus sõltub väga palju taimkatte test. Mulda katvad taimed seovad oma juurtega mullaosakesi ja maapealse osaga vähendavad tuule intensiivsust mulla pinnal. Poolas tehtud katses, kus võrreldi põldoa, suvinisu ja talirapsi mõju erosioonile ja magneesiumi ja kaltsiumi kaole, selgus, et mida suurem on taimik, seda vähem oli erosiooni ja toitainete ära kannet. Kolme kultuuri võrdluses esines kõige vähem erosiooni ja toitainete ära kannet talirapsiga põldudel, seda tänu talirapsi pikale kasvuperioodile, lisaks sellele võrreldi veel otsekülvi tavalise mullaharimisega, kus paremaid tulemusi näitas otsekülv (Chowaniak 2016). Keskmise erosiooni intensiivsus on Eestis 0,042 t ha⁻¹ aastas,

kallakulistel aladel asuvatel põllumaadel võib erosiooni intensiivus olla üle 0,4 t ha⁻¹aastas, kultuurrohumaa aga 0,004–0,03 t ha⁻¹ aastas, seega on rohumaad, eriti püsirohumaad head erosiooni vähendavaks meetmeks (Kull et al. 2011). Seega tuleks külvikorra planeerimisel mõelda sellele, et muld oleks võimalikult vähe aega ilma taimkatteta. Kasvatada rohkem talvituvaid kultuure, mitmeaastaseid rohumaid ja võimalusel rajada vahekultuure, mis takistaksid mulla ja toitainete ärakannet ning kallakulistel aladel rajada püsirohumaid.

1.3. Mulla kvaliteet

Mulla kvaliteet on taimekasvatuseks väga oluline, sest muld kui taime kasvukeskkond täidab taime jaoks mitmesuguseid ülesandeid. Taim kinnitub juurtega mulda ja imab mullast vett, kus on lahustunud erinevad toitained, mida taim vajab orgaanilise aine moodustamiseks. Mulla kvaliteedi iseloomustamiseks kasutatakse mitmesuguseid näitajaid, mõningaid neist saab määrata visuaalselt, teisi aga spetsiaalsete vahenditega ja laboratoorselt. Mulda iseloomustavaid omadusi jagatakse keemilisteks, füüsikalisteks ja bioloogilisteks ning need ei ole eraldiseisvad näitajad, vaid on omavahel seotud (Reeves 1997). Mulla kvaliteet on kõigi nende erinevate näitajate kompleks, kuna erinevaid näitajaid on väga palju, on mulla kvaliteeti küllaltki keeruline hinnata. Mulla kvaliteedist sõltub ka maa hind ja selle kasutamise tasuvus põllumajandusmaana. Madalama kvaliteediga maadel ei ole võimalik saada suuri saagikusi ning nende madalast toitainete sisaldusest tingituna on suurem vajadus väetada, millest omakorda tuleneb suurem keskkonnarisk.

Keemiliste omaduste hulka kuuluvad erinevad toitained, mis taimede kasvuks olulised on. Toiteainete hulka mullas saab määrata laboratoorsetel meetoditel, mis on vajalik väetustarbe määramisel ning väetamise optimeerimisel. Eestis tuleb keskkonnasõbraliku majandamise toetuse taotlemisel teha iga 5 aasta tagant mullaproovid, millega määratakse kaaliumi ja fosfori tarve ning mulla reaktsioon keskmiselt iga 5 hektari kohta ning orgaaniline süsinik iga 20 ha kohta (Räadam 2015). Võimalik on teha ka põhjalikumad analüüsid, kus määratakse kaltsiumi, magneesiumi, vase, mangaani, boori ja orgaanilise süsiniku sisaldused. Uuem ja arenenum suund on optimeeritud kasvukohapõhine väetamine, mis on osa täppisviljelusest ning see tugineb uuematele tootmistehnoloogilistele saavutustele ja

satelliitpositsioneerimise kasutamise võimalustele. Täppisväetamise eesmärk on vähendada kulusid, kasutada väetiseid efektiivselt ja keskkonnasõbralikult ning optimeerida saagikust (Optimeeritud kasvukohapõhine... 2015). Põllu osas, kus mingit elementi on vähem, väetatakse suurema normiga, kui seal, kus elementi on rohkem, nii tagatakse saagi ühtlikkus. See eeldab väga täpseid mulla analüüse ja vastava tarkvaraga tehnikat. Mineraalsete väetistega on võimalik taimedele juurde anda hulk erinevaid toitaineid, mida on mullas puudu. Taimede toitainete omastamist pärsib mulla happeline reaktsioon, kuid tundlikkus happesusele on liigiti erinev. Nisu taimede N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn ja Fe omastamine oli mõjutatud mulla reaktsiooni muutusest, N, P, K, Ca, Mg, Cu omastamine suurenes märgatavalt samal ajal kui Zn, Mn ja Fe omastamine vähenes mulla reaktsiooni tõusuga (Fageria, Zimmermann 1998). Hariliku Oa puhul suurenes N, P, K, Ca ja Mg omastamine ning vähenes Cu, Zn, Mn ja Fe omastamine mulla reaktsiooni tõusuga (Fageria, Zimmermann 1998). Leiti, et mulla reaktsiooniga üle 6.0 väheneb oluliselt mikroelementide omastamine taimede poolt (Fageria, Zimmermann 1998). Kui muld on liialt happeline ei ole hästi omastatavad makroelemendid ning kasutatud väetiste efektiivsus võib jääda soovitud tulemusest madalamaks, samas, lubjatud mullal võib esineda probleeme mikroelementide omastamisega. Mulla reaktsioon sõltub mulla aluskivimist, mullatekke protsessist ja taimedest, mis seal kasvavad. Mullad muutuvad happelisemaks füsioloogiliselt happeliste väetiste kasutamisel, mulla reaktsiooni saab muuta aluselisemaks lupjamise teel lisades mulda kaltsiumit.

Mulla iseloomustamiseks kasutatakse veel hulgaliselt füüsikalisi omadusi, näiteks mulla mehhaaniline koostis, savi ja liiva osakaalud ning kivisus. Savi osakesed mullas seovad endaga vett ja selles lahustunud toitaineid, mis on taimede kasvuks vajalikud. Muld, mille savi sisaldus on suurem, kuivab ja soojeneb kauem kui väiksema savisisaldusega muld. Seetõttu on piisava savisisaldusega mullad parema veehoiuvõimega kui suure liiva sisaldusega mullad. Veehoiuvõime on seotud veel pooride jaotusega, mis on mõjutatud mullaosakeste suurusest, mulla agregaatidest ning orgaanilise aine sisaldusest (Verheijen et al. 2010). Üldiselt on suurema orgaanilise aine sisaldusega mullad ka parema veehoiuvõimega (Sohi et al. 2009). Kivisus alandab mulla kvaliteeti kuna kivid ei hoia vett ega toitaineid, taimede juured ei suuda neist läbi tungida ning samuti on kivid probleemiks harimisel. Lasuvustiheduse kaudu saab hinnata mulla tallatust ja tihenemist, üldiselt on kõrge lasuvustihedus tihenunud mulla indikaatoriks, lisaks sellele saab lasuvustiheduse kaudu hinnata mulla üldist poorsust, kuna need on omavahel pöördeliselt seotud (Põllumuldade

tihenemise...). Uus Meremaal tehtud katse tulemustel selgus, et lasuvustiheduse suurenedes pidurdus taime kasv ja juurte areng (Searle, Sorensen 2004). Sarnased tulemused saadi ka Eerika katsepõldudel tehtud katsetes, kus tallamise tulemusel vähenes odra võrsete arv, biomass ja terasaak kuni 80%, teisel katseaastal vähenes maapealne biomass ligi 3 korda (Reintam et al. 2009). Poorid on täidetud kas õhu või veega, õhuga täidetud poorid on olulised juurte õhustatuse seisukohast ning veega täidetud poorid aitavad mulla niiskust hoida sademetevaesel perioodil. Lisaks vee hoidmisele on olulisel kohal ka vee läbilaskevõime. See näitaja tõuseb päevakorda sademeterohkel perioodil, kui muld on veega küllastumise lähedal. Kui liigse vee äravool on takistatud jäävad taimed hapnikuvaegusesse, ei suuda omastada toitaineid, kasv pidurdub ja taimed võivad hukkuda (Optimeeritud kasvukohapõhine... 2015). See, kui kiiresti vesi mulda imendub, vähendab ka oluliselt põllule masinaga pääsemise aega. Suure liivasisaldusega muldadel on vee läbilaskevõime parem, lisaks sellele oleneb vee läbilaskvus veel poorsusest ja mulla tihenemisest (tallamisest). Oluline indikaator mulla kvaliteedi hindamisel on mulla struktuur, see on üks tavalisemaid põhjuseid mulla füüsikaliste probleemide juures (Dexter 2004). Selleks, et mulla struktuur saaks moodustuda on vaja piisavalt savi ja mulla orgaanilist ainet. Mulla hea struktuur parandab mulla viljakust, tõstab agronoomilist tootlikust, parandab mulla kvaliteeti ja vähendab erosiooni (Bronick 2005). Oluline näitaja on ka mulla orgaanilise aine sisaldus. Orgaaniline aine täidab mullas mitut ülesannet, esiteks sisaldab see taimedele kättesaadavas vormis toitaineid, aitab parandada mulla struktuuri ja vähendab mulla erosiooni (Bot, Bonites 2005).

1.4. Visuaalne hindamine

Mulla kvaliteedi visuaalne hindamine muutub ühe populaarsemaks (van Leeuwen et al. 2018), sest kvaliteedi hindamiseks tehtavad analüüsid võtavad kaua aega ja on töömahukad. Mõningatel juhtudel tuleks kasuks, kui mulla mõningaid näitajaid saaks hinnata lihtsamalt ja kiiremini. Visuaalse hindamise jaoks ei ole vaja kallist tehnikat, millega analüüse läbi viia. Visuaalselt on võimalik hinnata näiteks mullaelustiku arvukust, tihenemist, lõimist ja samuti

ka mulla struktuuri ning värvi. Visuaalse hindamise puhul ei pruugi tulemused olla väga täpsed ning hindamise tulemus sõltub väga palju hindaja teadmistest. Hollandis tehtud katses, kus hinnati mulla kvaliteeti visuaalsetel meetoditel, leiti, et laboritulemustega sarnasema tulemuse saab, kui võtta mitmete vaatlejate keskmine vaatlustulemus. Lisaks sellele leiti, et vaatlustulemusi mõjutas mulla veesisaldus ning tõdeti, et visuaalsel hindamisel tuleks arvestada ka mulla tüübiga (van Leeuwen et al. 2018). Seega võiks mulla visuaalne hindamine olla kasuks just põllumeestele, kes igapäevaselt põldude harimisega tegelevad.

1.5. Inimtegurid mulla mõjutajana

Peamised probleemid muldadega tekivad inimtegevuse tagajärjel. Maad haritakse raskete masinatega, mis oma raskuse all mulla kokku vajutavad ehk tallavad. Tihendatud mullas ei suuda taimede juured edasi tungida ning taimede kasv jääb kängu. Mulla tihenemine on mõjutatud kliimast (mulla pidev kuivamine ja märgumine, külmumine ja sulamine, niiskus, aurumine) ja mullast (struktuur, savi osakesed, orgaaniline aine, katioonid, struktuur, veesisaldus, mulla bioloogiline aktiivsus) sama palju kui maa kasutusest (Foldesi 2006). Tallamise tagajärjel suureneb harimisel kütuse kulu, väheneb väetiste efektiivsus, väheneb mulla kandvus, väheneb saak ning sellest saadav tulu (Reintam 2017). Mulla tihenemise tõttu aeglustub mullaelustiku aktiivsus ja taimejäänuste lagunemine, taimede vee ja toitainete omastamine pidurdub (taimede kuivamise efekt, taimede kahjustumine, saagi langus), suureneb energia kulu mullaharimisel ja muld muutub vastuvõtlikuks erosioonile (Foldesi 2006). Tartus tehtud katses, kus võrreldi mulla kvaliteeti kolme niitelisel rohumaal, tallatud ja tallamata kohtades, selgus, et tallatud ülemises kihis suurenes lasuvustihedus ja vähenes poorsus ning tõdeti, et tallamine on rohumaadel probleem (Krebsteyn et al. 2013). Muldade tallamise vähendamiseks tuleks vältida põllul sõitmist liialt märja maapinnaga ja kasutada masina raskuse paremaks jaotamiseks topeltrattaid või roomikuid.

Põllumulla huumusesisaldust mõjutab väetamine, külvikord, mullaharimisviis, kuivendamine ja paljud teised tegurid. Külvikorra lõikes on oluline ka huumusbilanss, mis

näitab mineraliseerunud ehk lagunened ja juurde tekkinud huumusvaru vahet. Mulla huumusvaru mineraliseerumine sõltub kasvatatavast kultuurist, intensiivsem on see rühvelkultuuride ja teraviljade kasvatamisel. Huumusvaru suurendab haljasväetiskultuuride kasvatamine ja orgaaniliste väetiste kasutamine (Huumusbilansi mudel ... 2015). Põllumajanduse jätkusuutlikuks toimimiseks tuleks külvikorras kasutada piisavalt orgaanilisi väetiseid, et hoida muldade huumusbilanss tasakaalus. Praegusel juhul on Eesti põllumuldade huumusbilanss valdavalt negatiivne (Huumusbilansi mudel... 2015).

Viljakamal mullal moodustub rohkem biomassi, mis eeldab seda, et see peab ka lagunema. Taimsete jäänuste lagundamise eest vastutab mullaelustik, kes oma elutegevuse käigus taimejäänuseid lagundab. Mullaelustiku elutegevuse soodustamiseks tuleks kasutada orgaanilisi väetiseid. Teisalt, intensiivses põllumajanduses kasutatavad herbitsiidid, mis aitavad vähendada kultuurtaimede konkurentsi umbrohtudega, vähendavad mikroobide biomassi (Rose et al. 2016). On leitud, et kui taimejäänused küntakse mulda, tõuseb mulla toitainete sisaldus, paraneb mulla lõimis ning suureneb mikroobide mass ja väheneb vajadus kasutada keemilisi taimekaitsevahendeid (Oldare et al. 2008). Et vähendada taimekaitsevahendite kasutamist tuleb kinni pidada külvikorrast, kus oleks korralik viljavaheldus ja välditud sarnaste kultuuride üksteisele järgnevus ning sellega seondult oleks takistatud kahjurite ja haiguste levik.

1.6. Keskkonnasõbralikud praktikad rohumaaviljeluses

Rohumaade kasvatamise peamiseks eesmärgiks on toota loomasööta. Rohumaid liigitatakse lühi- ja pikaealisteks rohumaadeks. Lühiealised rohumaad on saagikad ja nendelt saadav haljasmass on suurema toiteväärtusega. Keskkonnasõbralikeks praktikateks rohumaaviljeluses on:

- 1) Pikaajaliste rohumaade kasutamine
- 2) Orgaaniliste väetiste kasutamine
- 3) Liblikõieliste heintaimede kasvatamine segus kõrrelistega

4) Rohumaade kasutamine külvikorras

Looduslikud ja poollooduslikud rohumaad asuvad tavaliselt halvema boniteedilistel maadel, mis on tihti liigniisked ja asuvad turvasmuldadel. Turvasmulde harimisel turvas mineraliseerub ja laguneb ning seetõttu tuleks neid kasutada püsirohumaana, mitte neid intensiivselt harida. Praktiliselt kõik turvasmullad kannatavad kaaliumipuuduses ja nende fosforiga varustatus on oluliselt halvem kui põllumaadel tervikuna, mis on aga limiteerivateks teguriteks saagikusele (Eesti maaelu...2017). Madala toitainete sisalduse ja happelise reaktsiooni tõttu ei ole võimalik saada konkurentsivõimelisi saagikusi ning seejuures on nende väetustarve oluliselt suurem. Turvasmuldade intensiivsemast väetamisest tuleneb omakorda suurem keskkonnarisk (Eesti maaelu...2017).

Rohumaadelt silo või heina tehes viiakse põllult ära märkimisväärne osa haljasmassi, kus on ka toitaineid. Kuna silo ja heina kasutatakse loomasöödaks saab osa toitaineid sõnnikuga tagasi põllule viia, mis tagab selle, et maa ei vaesuks toitainetest. Sõnniku laotamiseks on olemas mitmeid tehnoloogiaid, millel igal ühel on omad eelised. Tahesõnnikut on võimalik laotada sõnnikulaoturiga maapinnale ning peale seda tuleks see võimalikult kiiresti mulda viia. See tähendab seda, et seda ei ole võimalik teha juba olemasoleval rohumaal, vaid enne rohumaad rajamist. Tahesõnniku transport on vähem töömahukam kuna kuivainesisaldus on oluliselt suurem kui vedelsõnnikul. Vedelsõnniku kasutamine on paindlikum ja variante on rohkem. Kõige lihtsam ja algelisem on paisklaotamine, mis ei ole väga keskkonnasõbralik ega efektiivne lämmastiku suure kao tõttu, kuid on suhteliselt odavam. Järgmine variant on kasutada lohislaotamist, mis laotavad vedelsõnniku maapinnale, sellele peab aga järgnema eraldi mullaharimine. Segamislaoamisega on võimalik ühe töökäiguga läga segada mullaga, mis vähendab oluliselt ammoniaagi lendumist. Avalõhe ning sulglõhe sisestuslaoturit saab kasutada põllukultuuride ja rohumaade kasvuaegseks väetamiseks, tänu lõhesse paigutatud vedelsõnnikule on ammoniaagi lendumine ja taimiku saastumine väike. Ammooniumlämmastiku kadu sõltuvalt laotamisviisist on paisklaotamise korral 34–100%, lohislaotamisel 20–80%, avalõhe sisestuslaotamisel 1–25%, segamislaoamisel 2–12% ning sulglõhe sisestuslaotamisel 0–3% (Tamm, Vettik et al. 2016). Katsetulemustest on selgunud, et vedelsõnnikuga väetatud ja hea botaanilise koosseisuga rohukamarad andsid mineraalsete väetistega väetatud rohukamaratega võrdväärse või mõnevõrra suurema kuivainesaagi (Kask 2014).

Rohumaade taimik võib koosneda väga erinevatest taimedest ning seda eriti pikaajalistel rohumaaadel. Olulisteks on kõrrelised ning liblikõielised kultuurid, liblikõielised eriti seetõttu, et neil on võime mügarbakterite kaasabil õhulämmastikku siduda. Rohumaadel kasvatatakse segus kõrrelistega tavalistelt ristikute erinevaid liike. Norras tehtud katses selgus, et punane ristik segus kõrrelistega andis teisel kasvuaastal kuni 75% kõrgema lämmastiku kogusaagi kui ainult kõrreliste segu. Kolmandal ja neljandal aastal aga vähenes oluliselt punase ristiku osakaal segus kõrreliste tugeva konkurentsi tõttu (Tzanakakis et al. 2017). Punane ristik suudab keskmise viljakusega maadel puhaskülvina siduda kuni 220 kg ha⁻¹ lämmastikku (Agronoomia 2006). Tänu liblikõieliste võimele siduda õhulämmastiku saab vähendada mineraalse lämmastiku kasutamist rohumaaadel.

2. Materjal ja metoodika

Visuaalne hindamine ning mullaproovide kogumine viidi läbi 2016. aasta augustis ja septembris peale koristust ning enne sügiseste põllutööde algust 31. augustil, 13. septembril ja 20. septembril. Proovid võeti kolme erineva tootja põldudelt, kus oli võimalikult lähestikku ja sarnastes tingimustes asetsevad rohumaa ja põld. Proovivõtmise kohad asuvad Rapla-, Valga- ja Tartu maakonnas. Põldude harimisel on kasutatud Valga- ja Tartumaal künnipõhist harimist, Raplamaal minimeeritud harimisviisi. Lisaks kasutatakse Valgamaa põldude väetamiseks vedelsõnnikut. Täpsem katsekohtade informatsioon asub alljärgnevas tabelis (tabel 1).

Tabel 1. Katsekohtade informatsioon.

Koht	Variant	Mullaliik, lõimis	Põllumassiiv	Koordinaadid
Raplamaa	rohumaa	M', t ₃	55053915183	58°59'30.5"; 24°52'17.9"
Raplamaa	põld	Gk, M', ls, t ₃	55053915183	58°59'28.8"; 24°52'23.8"
Valgamaa	rohumaa	LP, ls ₁	62242017627	57°54'39.4"; 26°03'40.2"
Valgamaa	põld	LPe, sl	61941827459	57°53'26.9"; 26°00'49.6"
Tartumaa	rohumaa	M'', t ₂	63346184800	58°16'04.4"; 26°17'03.9"
Tartumaa	põld	M''(G0), t ₂	63346184800	58°16'04.0"; 26°17'02.5"

Visuaalsel hindamisel hinnati järgnevaid parameetreid: erosioon, vesi mulla pinnal, künnitihe, mulla värvus, poorsus, struktuursus, struktuuriagregaatide stabiilsus, elustiku mitmekesisus, mulla happesus, penetromeetriline takistus ja liikuv orgaaniline süsinik. Protokolli järgi tuli hinnata 30 cm sügavuse ulatuses ühe ruutmeetri suurust ala põllu kõige iseloomulikumas kohas ühes korduses. Tegelikult hinnati ühel põllul kolme erinevat kohta.

Kõikide näitajate kohta anti hinnang 3– punkti skaalal, põhimõttel: 0 – väga halb, 1 – rahuldav, 2 – hea. Kõikide näitajate hinnangute tulemused liideti kokku ning leiti keskmine tulemus.

Erosioonitundlikuse hindamiseks hinnati tolmutpilve suurust ja ära kantud materjali kogust läbi aasta, nii mullaharimise ajal, kui taimede kasvuperioodil. Võrreldi huumushorisondi tusedust künka tipus ja nõos, kus 2 – < 15 cm, 1 – 15 – 30 cm ja 0 – > 30 cm. Vee imendumist mulda ehk vett mulla pinnal hinnati taimede kasvuperioodil, kui muld oli veega küllastuse lähedal. Selleks loeti päevi peale vihma ning hinnangud saadi järgnevalt: 2 – vett pole mulla pinnal 1 päev, 1 – vesi kuni 3 päeva ja 0 – vesi kauem kui 3 päeva mulla pinnal. Künkitihese hindamiseks kaevati kuni poole meetri sügavuseni ning hinnati kaeve seinal tihest: 2 – tihest pole, 1 – kerge tihenemine ja 0 – tugev tihe. Mulla värvuse hindamiseks kasutati põllu servast võetud looduslikku mulda ja võrreldi seda põllult võetud mullaga: 2 – muld tume, ei erine oluliselt looduslikust, 1 – muld veidi heledam looduslikust, 0 – muld hele, oluliselt erinev looduslikust. Et hinnata mulla poorsust, kaevati välja 30x30x30 cm kuubik ja iseloomustati: 2 – palju makro- ja mikropoore agregaatide vahel, kaasneb hea struktuursusega, 1 – makro- ja mikropooride hulk vähenenud, väljendades keskmist tihenemist, 0 – makro- ja mikropoore pole näha, üksikud praod. Mulla struktuursuse määramiseks kaevati välja 20x20x20 cm kuubik, millelt eemaldati ülemine 5cm kiht ning lasti 1 m kõrguselt kukkuda kõvale alusele, suuremaid tükke maksimaalselt kuni 3 korda. Eraldunud tükid sorteeriti suuruse järgi ja asetati aluse eri servadesse ning hinnati: 2 – valdavalt peened agregaadid, 1 – poole panni jagu suuri agregate, 0 – enamus pannist suured agregaadid. Struktuuriagregaatide stabiilsuse määramiseks valiti kolm mulla õhukuiva tükki läbimõõduga 4–6 cm. Need asetati 1 cm² võrgule 5–10 min 1 l veepurki ning seejärel hinnati: 2 – muutust pole, selge vesi, 1 – osaliselt pudenenud, 0 – enamus pudenenud, vesi hägune. Elustiku mitmekesisuse määramiseks loeti vihmausside arv 20x20x20 cm mullakuubikust käsitsi 5 minuti jooksul: 2 – >8, 1 – 4–8 ja 0 – < 4. Mulla reaktsioon (pH_{H2O}) määrati 1:5 vesilahusest pH-meetriga laboris: 2 – 5,5–7,5, 1 – <5,5 või >7,5 ja 0 – <4,5 või >8. Penetromeetrilise takistuse määramiseks kasutati 1 cm² koonusega penetromeetrit, millega määrati takistus 40 cm sügavuseni. Selleks tehti 10 torget poole meetri raadiuses hindamiskohast ning leides korduste ja koha keskmise: 2 – < 2 MPa, 1 – 2–3 MPa ja 0 – >3 MPa. Liikuv orgaaniline süsinik määrati laboris kaaliumpermanganaadi lahusest spektromeetriga, kus saviliival (sl) ja liival (l) olid järgmised hindamiskriteeriumid: 2 – > 1, 1 – 0,5–1 ja 0 – <0,5, kergel liivsavil (ls₁) 2 – > 1,4 – 0,7–1 ja 0 – <0,7, keskmisel liivsavil

(ls_2) $2 - > 1,8 - 0,9 - 1$ ja $0 - < 0,9$ ning raskel liivsavil (ls_3) ja savil (s) $2 - > 2,0 - 1,2 - 1$ ja $0 - < 1,2$.

Visuaalse hindamise protokoll järgimisele võeti põldudelt lisaks mullaproovid 5–10 cm ja 25–30 cm sügavuselt mulla põhitoitainete ja mulla füüsikaliste parameetrite määramiseks. Põldudelt kogutud vihmaussid kaaluti elumassi leidmiseks. Lasuvustiheduse ja poorsuse määramiseks võeti proovid igast määramiskohast ja sügavusest neljas korduses ca 100 cm³ silindritega. Üldlämmastik määrati Kjeldahli järgi (Nitrogen...), orgaaniline süsinik Tjurini meetodil (Vorobyova 1998), liikuvad K, P, Ca ja Mg Mehlich–3 meetodil (Mehlich 3 ... 2016). Vees stabiilsete struktuuriagregaatide määramiseks kasutati 0,25–2 mm suurusi agregate Ejikelkamp märgsõelumise seadmel, kus neid 3 minuti jooksul loksutati (08.13 Wet... 2008). Silindrite meetodil määrati lasuvustihedus ja poorsus ning aeratsioonipoorsus leiti väliveemahutavuse ehk (pF_{1,8}) 60 hPa imamisjõu juures liivatünnidel. Veeläbilaskvuse määramiseks veega küllastunud proovidest kasutati Hauben'i meetodit (09.03 Hauben water... 2014).

Andmed töödeldi ühefaktorilisel dispersioonanalüüsil ning variantide vaheliste erinevuste usutavus leiti LSD testil 95%-lise usutavusnivoo juures.

Proovide võtmisele eelnenud kuude ilmastik on välja toodud alljärgnevas tabelis (tabel 2).

Tabel 2. Keskmine õhutemperatuur (°C) ja keskmine sajuhulk (mm) Eestis 2016. aasta aprill–september võrrelduna paljuaastase keskmisega (Ilmateenistus.ee).

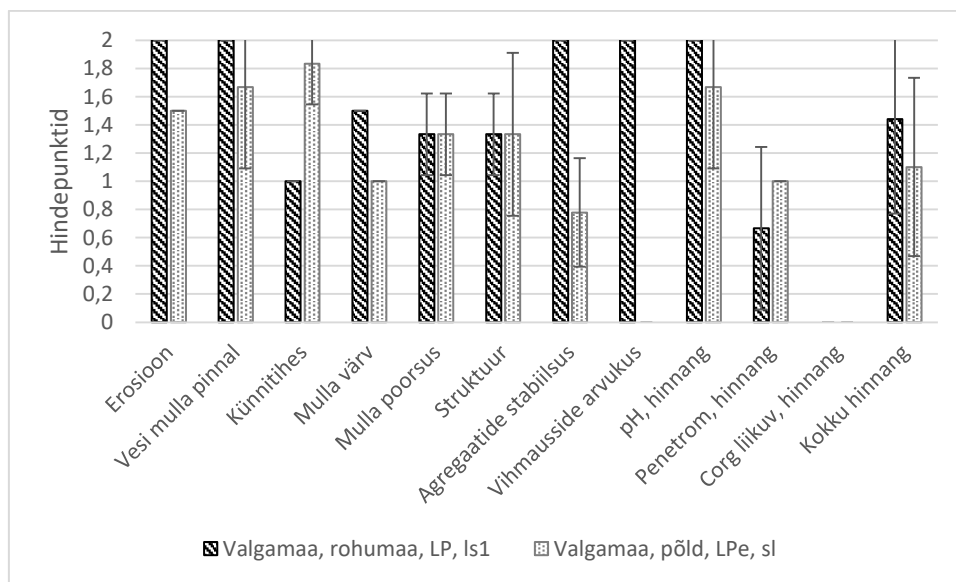
	Keskmine õhutemperatuur (°C), 2016	Paljuaastane keskmine õhutemperatuur alates aastast 1961 (°C)	Keskmine sajuhulk (mm), 2016	Paljuaastane keskmine sajuhulk alates aastast 1961 (mm)
Aprill	5,3	4,6	48	31
Mai	13,1	10,4	17	42
Juuni	15,5	14,4	107	69
Juuli	17,8	17,4	78	72
August	16,3	16,3	133	83
September	13,2	11,5	28	64

Aprill 2016 oli tavapärasest 0,7 °C soojem ning sademeid tuli oluliselt rohkem kui eelnevate aastate keskmisena. Mai keskmine õhutemperatuur oli tavapärasest 2,7°C kõrgem ning sajuhulk oli vaid 41% normist. Juuni oli normist veidi soojem (1,1°C) ja sadas ligikaudu poole rohkem kui tavaliselt. Juuli ja augusti temperatuurid tavapärasest oluliselt ei erinenud (augusti keskmine õhutemperatuur vastas täpselt normile). Juulikuu sademed ei erinenud samuti oluliselt normist, augustis sadas aga 160% normist Eestis keskmisena. September oli paljuaastasest keskmisest õhutemperatuurist 1,7°C soojem ning sademeid tuli 36 mm vähem.

3. UURIMUSTÖÖ TULEMUSED

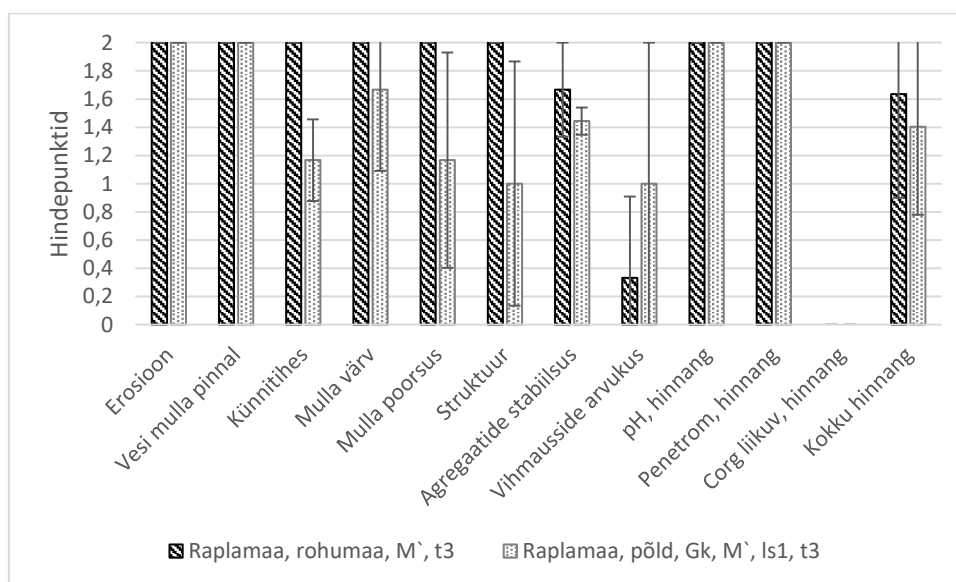
3.1. Visuaalse hindamise tulemused

Visuaalse hindamise tulemused, mis viidi läbi Valgamaal, näitavad, et parema koondhinde sai rohumaa võrreldes põlluga (joonis 1). Vähem esines erosiooni ning samuti vett põllu pinnal. Samuti olid paremad mulla värv, agregaatide stabiilsus ning pH. Võrreldes põlluga on rohumaal siiski probleeme tihesega, sest näitajad „künnitihes“ ja „penetromeetiline takistus“ jäid alla põllu näitajatele. Mulla poorsus, struktuur ja liikuv orgaaniline süsinik said keskmisena võrdselt hindepunkte. Näitaja „elustiku mitmekesisus“ sai aga keskmisena hinde „halb“ põllul ning hinde „hea“ rohumaal.



Joonis 1. Hinnang (0–halb, 1–rahuldav, 2–hea) mulla erinevatele parameetritele võrdlusena rohumaal, pruunil näivleetunud kergel liivsavimullal (LP, ls₁) ja põllul, nõrgalt erodeeritud näivleetunud saviliivmullal (LPe, sl) Valgamaa põldudel, vertikaaljooned näitavad standardhälvet.

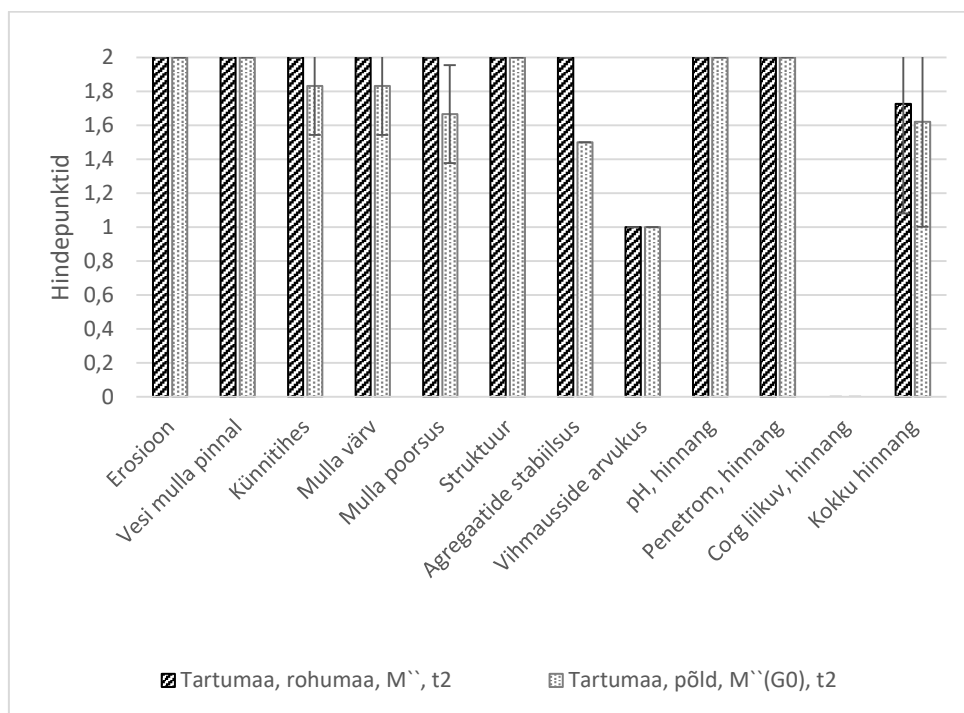
Raplamaal läbi viidud hindamisel selgus, et väga õhukesel hästi lagunenenud madalsoomullal sai kõrgema keskmise koondhinde rohumaa all olev muld (joonis 2). Hindele hea vastasid näitajad „erosioon“, „vesi mulla pinnal“, „pH“ ja „penetromeetiline takistus“. Rohumaal oli aga märgatavalt parem mulla poorsus ja struktuur, mis vastasid rohumaa hindele „hea“. Põllul esines tihenemist künni kihi all ning mulla värv varieerus põllul rohkem. Agregaatide stabiilsusi võrreldes suuri erinevusi ei täheldatud. Elustiku mitmekesisus oli Raplamaal küllaltki madalate keskmiste hindepunktidega, kuid üksikud proovilapid erinesid üksteisest palju. Hinde „halb“ sai näitaja „Corg liikuv“, kuna kaaliumpermanganaadi lahusest spektomeetriga määratud tulemus jäi alla <0,5%.



Joonis 2. Hinnang (0–halb, 1–rahuldav, 2–hea) mulla erinevatele parameetritele võrdlusena rohumaa, väga õhukesel hästi lagunenenud madalsoomullal (M, t₃) ja põllul, väga õhukesel hästi lagunenenud madalsoomullal (M, t₃) ja rähksel kergel liivsavimullal (Gk, ls₁) Raplamaa põldudel, vertikaaljooned näitavad standardhälvet.

Tartu maakonnas läbi viidud hindamisel sai kõrgema keskmise hindepunkti rohumaa võrdluses põlluga, kuigi vahe on väga väike (joonis 3). Tartumaal hinnatud põllud said ka kõrgemad hindepunktid kui Valgamaal (joonis 1) ja Raplamaal (joonis 2) hinnatud põllud. Hindele „hea“ hinnati rohumaa puhul peaaegu kõiki näitajad, madalamad hindepunktid said vaid elustiku mitmekesisus (hinne „rahuldav“) ja liikuv orgaaniline süsinik (hinne „halb“). Põllu puhul said madalamad keskmised hindepunktid näitajad „künnitihe“, „mulla värv“ ja

„mulla poorsus“. Agregaatide stabiilsus jäi selgelt alla põllu puhul ning liikuv orgaaniline süsinik hinnati taaskord mõlema puhul hindele „halb“, kuna kaaliumpermanganaadi lahusest spektomeetriga määratud tulemus jäi alla <0,5%.



Joonis 3. Hinnang (0–halb, 1–rahuldav, 2–hea) mulla erinevatele parameetritele võrdlusena rohumaal, õhukesel keskmiselt lagunenenud madalsoomullal (M'', t₂) ja põllul, õhukesel keskmiselt lagunenenud madalsoomullal (M'', t₂) ja keskmiselt lagunenenud leostunud gleimullal (G0, t₂) Tartumaa põldudel, vertikaaljooned näitavad standardhälvet.

Visuaalse hindamise kokkuvõtteks saab välja tuua, et kõigi kolme maakonna põldudel, kus võrreldi rohumaad ja põldu sarnastel muldadel, saadi paremad hindamistulemused rohumaadel kõikides maakondades. Kõikides variantides oli mulla värv tumedam rohumaal kui põllul. Mulla poorsus sai paremad hindepunktid rohumaadel Raplamaa ja Tartumaa võrdlustes, ning samad hindepunktid põlluga Valgamaal. Lisaks neile näitajatele oli agregaatide stabiilsus rohumaadel samuti parem kõikides maakondades.

3.2. Penetromeetriline takistus

Penetromeetriline takistus mõõdeti iga cm kohta kuni 60 cm sügavuseni igas võrdlusvariandis. Andmete usutavust näitab kahefaktorilise dispersioonanalüüsi tulemused (tabel 3), mis on tehtud iga 5 cm sügavuse kaupa.

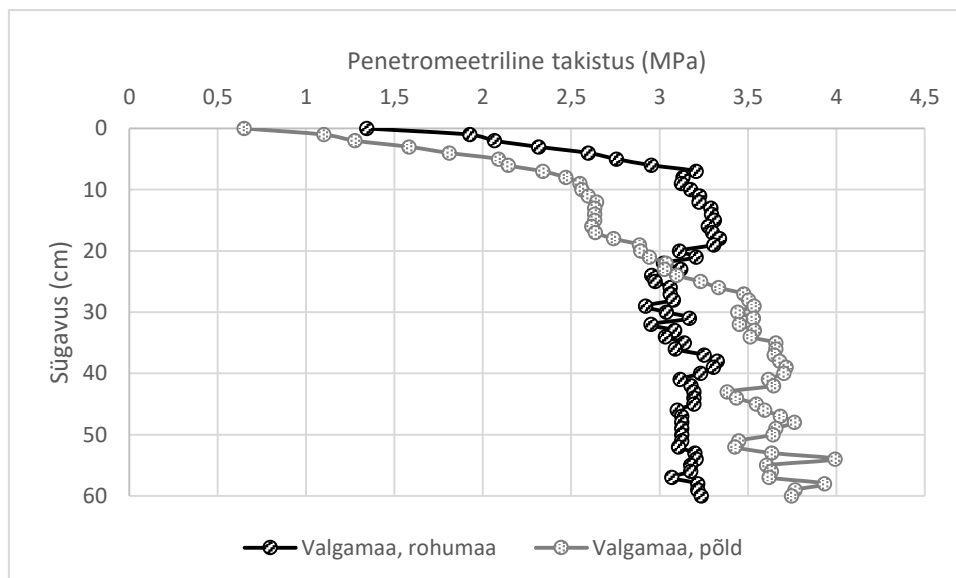
Tabel 3. Penetromeetrilise takistuse kahefaktorilise dispersioonanalüüsi tulemused, p-väärtus 95%-lise usutavusnivoo juures. Koht tähistab võrdluspaaride erinevusi, variant on rohumaade ja haritavate maade erinevused.

Sügavus (cm)	Koht	Variant	Koht*Variant
1	<0,001*	0,016	<0,001*
5	<0,001*	0,158	<0,001*
10	<0,001*	0,291	<0,001*
15	<0,001*	0,436	<0,001*
20	<0,001*	0,007*	<0,001*
25	<0,001*	<0,001*	0,003*
30	<0,001*	<0,001*	0,068
35	<0,001*	<0,001*	0,088
40	0,013*	<0,001*	0,165
45	<0,001*	<0,001*	0,007*
50	<0,001*	<0,001*	0,212
55	<0,001*	0,264	0,335
60	<0,001*	0,089	0,929

Statistiliselt usutavad erinevused $p < 0,05$ on tähistatud tärniga (*). Täрни puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu.

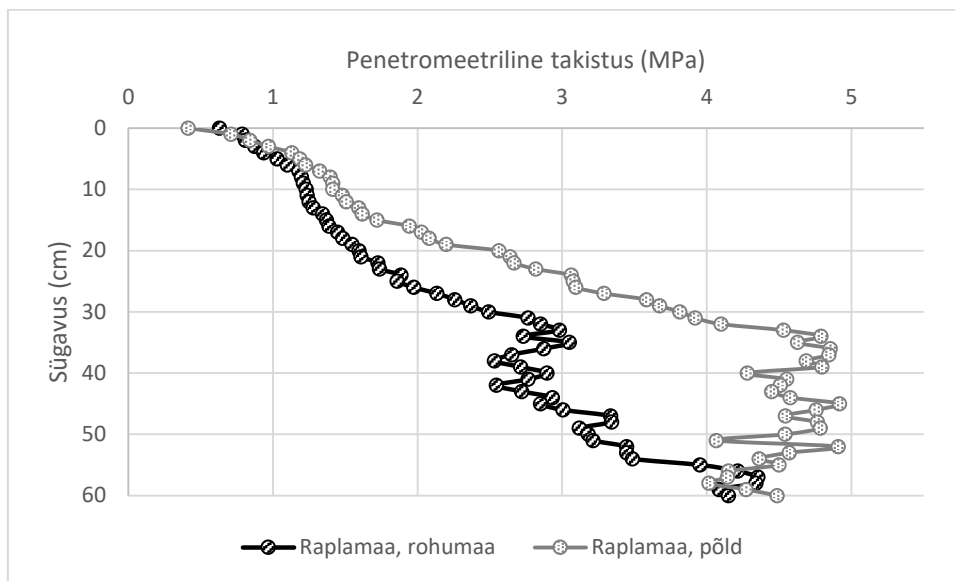
Usutavad erinevused avaldusid peaaegu kõigil sügavustel (va 40 cm sügavusel) kohtade võrdluses. Variantide võrdluses ei olnud erinevused usutavad pealmises mullakihis (0–20 cm), kuid erinevused avaldusid 25–50 cm kihis, kus p- väärtus oli alla $<0,05$. Sügavamal (55–60cm) usutavaid erinevusi ei olnud. Koht*Variant võrdluses esinesid usutavad erinevused pealmises mullakihis (0–20cm).

Valgamaal tehtud penetromeetriliste mõõtmiste tulemustel selgus, et rohumaal oli takistus suurem künnikihis võrreldes põlluga, kuid peale künnikihti penetromeetriline takistus sügavamale liikudes oluliselt enam ei muutunud (joonis 4). Põllul oli penetromeetriline takistus väiksem ülemises kihis, kuid künnikihist allpool suurenes takistus võrreldes rohumaa märgatavalt.



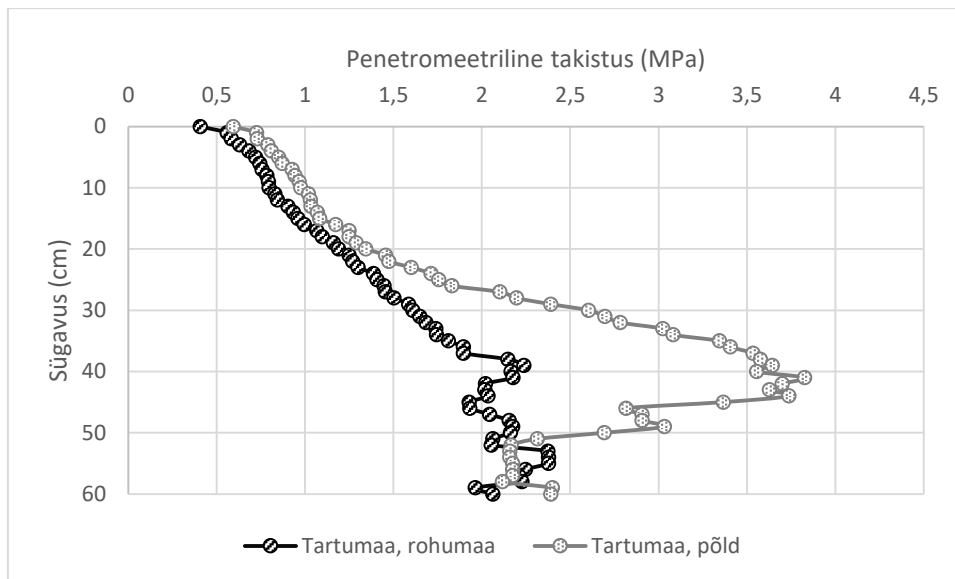
Joonis 4. Mulla penetromeetriline takistus rohumaa ja põllu võrdlusena näivleetunud kergel liivsavimullal (LP, ls₁) ning nõrgalt erodeeritud näivleetunud saviliivmullal (LPe, sl) Valgamaal.

Raplamaal tehtud penetromeetrilised mõõtmised näitasid suuremat takistust põllul peaaegu kogu mõõdetud sügavuses (joonis 5). Suurimad erinevused olid sügavusvahemikus 30–50 cm, kus põllu penetromeetriline takistus oli oluliselt suurem, olles kohati ligikaudu 5 MPa.



Joonis 5. Mulla penetromeetriline takistus rohumaa ja põllu võrdlusena väga õhukesel hästi lagunenud madalsoomullal (M°, t_3) ning väga hästi lagunenud madalsoomullal (M°, t_3) ja rähksel gleiliivsavimullal (Gk, ls_1) Raplamaal.

Tartumaa läbi viidud penetromeetrilise takistuse mõõtmisel olid künnikihis takistused põllul veidi suuremad kui rohumaal (joonis 6). Haritavast kihist allpool (25–50cm) suurenes põllul penetromeetriline takistus oluliselt võrreldes rohumaaaga. Sügavamal kui 50 cm vähenes põllul takistus märgatavalt.



Joonis 6. Mulla penetromeetriline takistus rohuma ja põllu võrdlusena õhukesel keskmiselt lagunenud madalsoomullal ($M^{\prime\prime}, t_2$) ning õhukesel keskmiselt lagunenud madalsoomullal ($M^{\prime\prime}, t_2$) ja keskmiselt lagunenud leostunud gleimullal ($G0, t_2$) Tartumaal.

3.3. Mullaproovide tulemused

3.3.1. Füüsikalised omadused

Füüsikaliste omaduste kohta tehtud kahefaktoriline dispersioonanalüüs näitas usutavaid erinevusi enamuste näitajate puhul (tabel 4). Kohtade võrdluses ei olnud usutavalt erinevaid veeläbilaskvus, kus esines ka väga suuri standarhälbeid (tabel 4). Variantide võrdluses ei olnud samuti usutavalt erinev veeläbilaskvus ning lisaks ka penetromeetriline takistus. Koht*Variant võrdluses ei olnud usutavalt erinevad näitajad „vees stabiilsed agregaadid“ ning „veeläbilaskvus“.

Tabel 4. Mullproovide füüsikaliste omaduste kahefaktorilise dispersioonanalüüsi tulemused, p- väärtus 95%-lise usutavusnivoo juures. Koht tähistab võrdluspaaride erinevusi, variant on rohumaade ja haritavate maade erinevused.

	Koht	Variant	Koht*Variant
Vees stabiilsed agregaadid (%)	<0,001*	<0,001*	0,561
Veeläbilaskvus (cm d ⁻¹)	0,022*	0,010*	0,733
Lasuvustihedus(g cm ⁻³)	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Veesisaldus proovi võtmisel (%)	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Maksimaalne veesisaldus (%)	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Üldine poorsus (%)	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Õhuga täidetud poorsus pF1.8 juures (%)	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Penetromeetriline takistus (MPa)	<0,001*	0,075	<0,001*

Statistiliselt usutavad erinevused $p < 0,05$ on tähistatud tärniga (*). Täрни puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu.

Mullaproovide tulemustest selgub, et kõikides maakondades oli usutavalt rohkem vees stabiilseid agregaatid rohumaadelt võetud proovides ning samuti oli keskmine veeläbilaskvus suurem rohumaadel (tabel 5). Kõikides võrdlustes olid lasuvustihedused suuremad põldudel, suurimad neist Valgamaal ning väikseimad rohumaadel Rapla- ja Tartumaal. Veesisaldus proovide võtmisel oli väiksem Tartumaa ja Raplamaa rohumaadel, Valgamaal oli suurem veesisaldus proovide võtmisel aga põllul. Maksimaalne veesisaldus veega küllastamisel oli kõikide võrdluste puhul suurem rohumaadel, suuremad maksimaalsed veesisaldused olid turvasmuldadel Rapla- ja Tartumaal ning väiksemad näivleetunud muldadel Valgamaal. Üldised poorsused ja õhuga täidetud poorsused olid suuremad rohumaadel kõikides võrdlustes, suurim keskmine üldine poorsus oli Tartumaa rohumaal ning kõige madalam Valgamaa põllul. Tartumaa ja Raplamaa võrdlustes oli penetromeetriline takistus väiksem rohumaadel, Valgamaal aga põllul.

Tabel 5. Testitud põldude keskmised füüsikalised omadused koos standardhälbega.

	Turvasmullad				Erodeeritud	
	Raplamaa rohumaa	Raplamaa põld	Tartumaa rohumaa	Tartumaa põld	Valgamaa rohumaa	Valgamaa põld
Vees stabiilsed agregaadid (%)	73,94± 13,02	58,18± 26,23	84,39± 8,20	59,84± 3,97	48,93± 3,36	27,95± 0,97
Veeläbilaskvus, (cm d ⁻¹)	761,81± 621,39	216,97± 168,62	1246,10± 1285,20	926,56± 1129,99	838,60± 687,10	129,76± 235,78
Lasuvustihedus (g cm ⁻³)	0,52±0,16	0,97±0,32	0,48±0,11	1,10±0,17	1,42±0,04	1,49±0,03
Veesisaldus proovi võtmisel (%)	52,46±2,93	44,97±6,78	55,01±3,08	38,48±7,95	20,67±0,89	26,49±1,31
Maksimaalne veesisaldus (%)	73,73± 4,10	62,08± 10,20	74,61± 3,88	55,69± 5,96	43,42± 1,43	41,32± 1,28
Üldine poorsus (%)	61,20± 2,76	57,92± 9,83	67,39± 2,00	54,07± 4,39	45,37± 1,62	43,55± 1,05
Õhuga täidetud poorsus pF1.8 juures (%)	42,70± 2,81	35,27± 12,04	49,82± 4,96	32,30± 3,26	27,53± 2,08	23,37± 1,43
Penetrom, (MPa)	1,41±0,20	1,96±0,10	1,00±0,10	1,24±0,20	2,95±0,10	2,54±0,00

3.3.2. Keemilised ja bioloogilised omadused

Keemiliste ja bioloogiliste näitajate kahefaktorilise dispersioonanalüüsi tulemused on alljärgnevas tabelis (tabel 6). Kohtade võrdluses ei olnud usutavalt erinevad pH, elustiku mitmekesisus (tk) ja elustiku mitmekesisus (g). Variantide võrdluses olid usutavalt erinevad järgnevad keemilised näitajad: üldlämmastiku sisaldus, orgaaniline süsinik, süsiniku ja lämmastiku suhe ja liikuv kaltsium. Koht*Variant võrdluses oli usutavalt erinev vaid pH.

Tabel 6. Mullaproovide keemiliste ja bioloogiliste omaduste kahefaktorilise dispersioonanalüüsi tulemused, p- väärtus 95%-lise usutavusnivoo juures. Koht tähistab võrdluspaaride erinevusi, variant on rohumaade ja haritavate maade erinevused.

	Koht	Variant	Koht*Variant
N _{üld} (%)	<0,001*	<0,001*	0,010*
C _{org} (%)	<0,001*	<0,001*	0,002*
C/N	<0,001*	<0,001*	0,052
C _{org} , liikuv (%)	<0,001*	0,071	0,723
P (mg kg ⁻¹)	<0,001*	0,420	0,108
K (mg kg ⁻¹)	<0,001*	0,230	0,805
Ca (mg kg ⁻¹)	<0,001*	<0,001*	0,004*
Mg (mg kg ⁻¹)	<0,001*	0,004*	0,749
pH _{H2O}	0,002*	0,123	<0,001*
Elustiku mitmekesisus, (tk)	0,299	0,030*	0,016*
Elustiku mitmekesisus, (g)	0,029*	0,005*	0,004*

Statistiliselt usutavad erinevused $p < 0,05$ on tähistatud tärniga (*). Täрни puudumisel usutavaid erinevusi ei leidu.

Mullaproovide keskmised üldise lämmastiku tulemused näitavad, et suuremad lämmastiku sisaldused on kõikides võrdlustes rohumaadel (tabel 7). Lisaks võib välja tuua oluliselt suurema lämmastiku sisalduse turvasmuldades. Orgaanilise süsiniku % oli kõikides variantides kõrgem rohumaadel ning erinedes märkimisväärselt turvasmuldadel Tartu- ja Raplamaa võrdlustes. Muldade süsiniku ja lämmastiku keskmised suhted varieerusid 7,37–15,11 vahel. Kitsamad süsiniku ja lämmastiku suhte näitajad olid Valgamaal näivleetunud muldadel ning laiemad Tartu- ja Raplamaal turvasmuldadel. Kõikides võrdlustes oli süsiniku ja lämmastiku suhe laiem rohumaadel sõltumata mullast. Liikuva orgaanilise süsiniku % ei erinenud usutavalt põllu ja rohumaal vahel, jäädes kõikidel keskmistel proovidel 0,66% ja

0,71% vahele. Kaaliumi ja fosfori sisalduste vahel rohumaa ja põllu võrdlustes usutavaid erinevusi ei leitud. Raplamaa põldudel on väetistarbe astmed fosfori puhul suured ning kaaliumi puhul põllul suur ning rohumaal väga suur. Valgamaalt võetud mullaproovide analüüsimisel selgus, et väetistarbe aste on kaaliumi puhul suur nii põllul kui rohumaal. Fosfori väetistarbe aste on rohumaal keskmine ja põllul suur. Tartumaal on fosfori väetistarbe astmed põllul ja rohumaal keskmised ning kaaliumi väetistarbe aste on põllul väike ja rohumaal keskmine. Magneesiumi väetistarbe aste oli enamuses uurimiskohtades väga väike, kuid Valgamaal põllul suur. Muldade keskmised reaktsioonid jäid vahemikku 5,6–7,26 pH_{H₂O}. Uuritavad põllud on valdavalt lubjatud, mida näitavad neutraalilähedased reaktsioonid, kui ka kõrged kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused. Ainuke põld, mis erineb teistest oma happelisema reaktsiooni ja madalama kaltsiumi ning magneesiumi sisalduse poolest on Valgamaal asuv põld. Vihmausse oli rohkem Tartu- ja Valgamaa rohumaaadel, Raplamaal aga põllul. Kõige rohkem mullaelustikku oli Valgamaa rohumaal ning kõige vähem Valgamaa põllul.

Tabel 7. Testitud põldude 30 cm mulla kihi keskmised keemilised ja bioloogilised omadused, lõimis ning standardhälve.

	Turvasmullad				Erodeeritud	
	Raplamaa rohumaa	Raplamaa põld	Tartumaa rohumaa	Tartumaa põld	Valgamaa rohumaa	Valgamaa põld
N _{üld} (%)	1,70±0,78	0,69±0,54	1,53±0,36	0,47±0,22	0,17±0,01	0,09±0,01
C _{org} (%)	24,84±11,40	8,33±6,36	23,14±6,04	5,36±3,09	1,47±0,15	0,67±0,15
C/N	14,85±0,37	11,77±1,40	15,11±0,54	10,96±1,30	8,53±0,42	7,37±1,32
C _{org} , liikuv (%)	0,67±0,01	0,66±0,03	0,71±0,00	0,69±0,00	0,69±0,01	0,67±0,01
P (mg kg ⁻¹)	24,98±6,97	37,62±15,28	77,73±3,03	76,36±27,93	66,54±27,44	34,35±28,01
K (mg kg ⁻¹)	102,65±8,42	94,42±12,91	305,52±78,01	258,31±33,02	82,10±25,17	60,23±21,87

Ca (mg kg ⁻¹)	15551,85± 2416,54	10942,35± 3239,54	12542,45± 2582,89	4298,90± 1563,15	2203,20± 264,89	349,11± 169,71
Mg (mg kg ⁻¹)	2215,21± 1095,84	1660,01± 394,43	1305,74± 253,94	449,33± 175,15	585,17± 103,69	80,72± 41,74
Liiv (%)	11,04±1,9	19,10±5,1	21,13±12,2	57,53±7,6	64,97±5,0	62,11±3,9
Savi (%)	62,08±7,42	66,02±2,56	48,62±1,20	28,70±4,56	22,72±3,43	32,18±3,37
Tolm (%)	26,87±9,2	14,88±3,3	30,25±14,2	13,77±3,0	12,31±1,7	5,72±1,1
pH _{H2O}	6,87±0,3	7,26±0,1	6,48±0,1	6,98±0,1	7,11±0,2	5,60±0,5
Elustiku mitmekesisus, (tk)	4,00±3,61	6,33±5,51	9,33±2,31	6,33±2,08	14,67±5,51	2,33±0,58
Elustiku mitmekesisus, (g)	2,96±2,80	6,33±1,35	3,51±3,53	3,26±2,06	15,29±6,24	0,70±0,36

N_{üld} – üldine lämmastik; C_{org} – orgaaniline süsinik; C/N – süsiniku ja lämmastiku suhe; C_{org}, liikuv – liikuv orgaaniline süsinik; pH_{H2O} – mulla happesus määratuna vesilahusest; P – liikuv fosfor; K – liikuv kaalium; Ca – liikuv kaltsium; Mg – liikuv magneesium; liiv – 0,63–2 mm; savi – 0,002–0,63 mm; tolmu – <0,002.

4. ARUTELU

Läbi viidud labori analüüsides selgus, et kõikides võrdlustes oli orgaanilise süsiniku sisaldus märgatavalt suurem rohumaadel (tabel 7). See kattub visuaalsel hindamisel näitaja „mulla värv“ tulemustega, sest mulla värv on seotud orgaanilise süsiniku sisaldusega mullas. Seega on võimalik kasutada visuaalset hindamist mulla orgaanilise aine erinevuste tuvastamiseks võrreldavatel muldadel. Antud uurimistöös võrreldud põldude orgaanilise aine sisaldus erines suures ulatuses, ning seega oli visuaalselt erinevusi lihtsam tuvastada. Suured süsiniku sisalduse erinevused on ilmselt tingitud sellest, et haritavaal maal toimub intensiivne turba lagunemine ning seetõttu on süsiniku sisaldus seal väiksem kui rohumaadel. Põllumajandusuuringute keskuse poolt läbi viidud turvas- ja erodeeritud muldade hindamisel leiti samuti, et püsirohumaal all olevad turvasmullad on suurema süsiniku sisaldusega (Erodeeritud ja turvasmuldade... 2015). Lisaks, läbiviidud turvasmuldade uuringust selgus, et kolmandik uuritud turvasmuldadest on kaotanud 25 aastaga oma turbakihi tüked nii palju (peamiselt harimise tõttu), et neid ei saa enam klassifitseerida turvasmuldadena (Soostunud... 2012). Turvasmuldade harimine kiirendab turba lagunemist ning seetõttu on haritud turvasmuldade süsiniku sisaldus vähenenud.

Visuaalsel hindamisel hinnati agregaatide stabiilsus kõikides variantides paremaks rohumaadel ning sama kinnitavad ka laboriandmed (tabel 5). Suurema mulla orgaanilise aine sisalduse juures paraneb agregaatide stabiilsus (Chenu et al. 2000), seega võib parem agregaatide stabiilsus olla tingitud rohumaade suuremast orgaanilise aine sisaldusest, lisaks suuremale süsiniku sisaldusele on rohukamar paremini juurestatud, mis seob mullaosakesed paremini kokku. Võrreldes sarnaseid muldi erinevate taimkatete korral (rohumaal, haritav põld, mets, erodeeritud muld) oli parim agregaatide stabiilsus mulla ülemises kihis rohumaal ning samuti oli rohumaal suurima orgaanilise aine sisaldusega (Saha et al. 2011).

Mulla poorsus oli visuaalsel hindamisel parem Tartumaa (joonis 3) ja Raplamaa (joonis 2) rohumaadel ning võrdne Valgamaal (joonis 1) ning laboris tehtud testide tulemused olid rohumaadel paremad (tabel 5). Rohumaade suurem poorsus võib olla tingitud suuremast

orgaanilise aine sisaldusest ja väiksemast lasuvustihedusest. Samuti on rohttaimede juured hea kasvuga, luues biopore. Turvasmuldades oli poorsus oluliselt suurem kui näivleetunud mullal (tabel 5), sest turvasmuldade lasuvustihedus on väiksem ja süsiniku sisaldus suurem. Sarnane tulemus on välja toodud ka põllumuldade tihenemise uuringus: suurema orgaanilise aine sisaldusega muldades on lasuvustihedus väiksem ning poorsus suurem (Põllumuldade tihenemise...). Rohumaade keskmine veeläbilaskvus oli samuti suurem kui võrreldavatel põldudel (tabel 5), kuid suure standardhälbe tõttu ei ole tulemused usutavad ($p > 0,05$) (tabel 4). Maksimaalne veesisaldus küllastamisel oli kõikide variantide puhul väiksem põldudel (tabel 5), mis võib olla tingitud väiksemast orgaanilise aine sisaldusest ning poorsusest.

Keskmine penetromeetriline takistus oli suurem Tartu- ja Raplamaal põldudel, kuid Valgamaal rohumaal (tabel 5). Kuna mulla penetromeetriline takistus sõltub ka mulla veesisaldusest siis Valgamaa rohumaal saadud suurem keskmine penetromeetriline takistus võib olla tingitud ka sellest, et proovide võtmisel oli seal veesisaldus väiksem kui põllul, Tartu- ja Raplamaal aga rohumaadel (tabel 5). Penetromeetrilise takistuse analüüsil erinesid variantide vahel usutavalt takistused sügavusel 25–50 cm (tabel 3). Sellel sügavusel olid kõikides variantides väiksemad takistused rohumaadel, mis viitab sellele, et põldudel esineb haritava kihi all rohkem tihenemist. Valgamaal oli küll põllul ülemise haritava kihi penetromeetriline takistus väiksem kui rohumaal, kuid künnikihist allpool oli olukord vastupidine- väiksem takistus oli rohumaal (joonis 4). Seega ei iseloomusta keskmine penetromeetriline takistus kogu mõõdetud sügavust. Raplamaal tehtud penetromeetrilise takistuse mõõtmine näitas, et peaaegu kogu mõõdetud sügavuses oli väiksem takistus rohumaal (joonis 5). Mõlema variandi puhul suurenes takistus järsemalt alates 20 cm ning põllul oli 30–50 cm sügavusel märgatavalt suurem takistus. Tartumaal läbi viidud penetromeetrilise takistuse mõõtmine näitas, et põld oli kogu ulatuses suurema takistusega (joonis 6). Suurema takistusega kiht oli põllul 25–50 cm ning sügavamal takistus vähenes oluliselt. Kõikidel haritavatel põldudel oli haritava kihi all penetromeetriline takistus suurem, rohumaadel see nii drastiliselt märgata ei ole. Põllumajandusuuringute keskuse poolt läbi viidud uuringus, kus proovid koguti 2008. ja 2009. aastal, selgus, et künnitihes uuritavatel aladel üldiselt puudus või ei olnud märkimisväärne, märgatav tihenemine künnikihi all tuvastati ühel põllul (Põllumuldade tihenemise...).

Keemiliste ja bioloogiliste näitajate poolest ei olnud erinevused nii suured kui füüsikaliste näitajate puhul. Üldine lämmastiku sisaldus oli kõikidel rohumaadel suurem kui põldudel

(tabel 7). Suurem lämmastiku sisaldus on tingitud suuremast orgaanilise aine sisaldusest, lisaks sellele võib tulemust mõjutada väetamine ning liblikõieliste poolt seotud õhulämmastik. Laiem C:N suhe viitab sellele, et mulla orgaanilise aine mineralisatsioon ei ole nii intensiivne kui kitsama C:N suhte puhul. (Mary et al. 1996). Kuna rohumaadel ei ole mineralisatsioon nii intensiivne ning orgaanilist ainet tuleb pigem juurde, on tänu sellele süsiniku sisaldus oluliselt suurem ning sellest tulenevalt on ka C:N suhe rohumaadel laiem.

Fosfori ja kaaliumi sisaldustel usutavaid erinevusi ei leitud (tabel 6). Kuna kaaliumi ja fosfori sisaldused sõltuvad palju väetamisest, ning tegu ei ole sama tootja põldudega, ei ole otstarbekas neid võrdlusel kasutada. Kuigi enamuses Eesti turvasmuldadest kannatab kaaliumipuuduses ning fosfori sisaldus on madalam kui põllumaadel keskmiselt (Erodeeritud ja turvasmuldade... 2015), olid Tartumaal fosfori ja kaaliumi väetistarbed valdavalt keskmised, mis viitab kõrgemale väetustasemele. Muldade neutraalilähedane reaktsioon, suur magneesiumi ja kaltsiumi sisaldus viitavad sellele, et enamuses põllud oli lubjatud. Ainuke happelisem muld (keskmine pH 5,6) oli Valgamaa haritav põld, kus ilmselt pole lupjamist hiljuti tehtud, sest ka kaltsiumi ja magneesiumi sisaldused olid madalamad.

Vihmausse oli rohkem rohumaadel Tartu- ja Valgamaal, Raplamaal oli vihmausse rohkem aga põllul (tabel 7). Valgamaa põllul oli vihmausse võrreldes kõigi teiste proovikohtadega kõige vähem, hoolimata sellest, et Valgamaa võrdluses kasutati vedelsõnnikut, mis võiks teoreetiliselt vihmausside arvukusele soodsalt mõjuda. Valgamaa põllu madal vihmausside arvukus võib olla tingitud madalamast orgaanilise aine sisaldusest ja mulla happelisest reaktsioonist, samuti oli seal lasuvustihedus võrreldavatest põldudest kõige suurem. Samas oli kõige rohkem vihmausse Valgamaa rohumaal, kus kasutati samuti vedelsõnnikut, lisaks on rohumaal suurem orgaanilise aine sisaldus ja neutraalne reaktsioon. Tartumaa võrdluses oli rohkem vihmausse rohumaal, mida võiks seletada suurema orgaanilise aine sisalduse ja rohumaa suurema lagundatava materjaliga, kuid Raplamaal oli vihmausse vähem rohumaal, kuigi orgaanilise aine hulk oli märgatavalt suurem rohumaal. Vihmausside arvukuse uurimistöös leiti, et märgatavalt ei mõjutanud vihmausside arvukust viljelusviis, rohkem aga orgaanilise aine juurdetulek mulda ning talviste kattekultuuride ning sõnniku koosmõju, kultuuride võrdluses eelistasid vihmaussid punast ristikut ja hernelist (Reintam et al. 2015). Seega ei ole vihmausside arvukus nii lihtsalt ja üheselt seletatav ning mõjutavaid faktoreid võib olla palju.

Visuaalset hindamist on võimalik kasutada mulla kvaliteedi kiireks hindamiseks, kuigi mõningate näitajate hindamiseks on vaja spetsiaalseid vahendeid ning visuaalse hindamise tulemus sõltub palju hindaja kogemusest.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli uurida kuidas mõjub mulla kvaliteedile turvas- ja erodeeritud muldade jätmine püsitaimekatte alla ning, kas visuaalne mulla omaduste hindamine annab adekvaatse ülevaate mulla seisundist võrreldes laboris tehtud määramistega. Töö hüpotees: keskkonnasõbralike praktikate kasutamine parandab mulla kvaliteeti võrreldes tavapraktikatega. Keskkonnasõbraliku praktikana antud töö raames käsitletakse turvas- ja erodeeritud muldadel mulla rohttaimedega katmist. Võrdluseks kasutatakse künnipõhist harimist põllukülvikorras.

Visuaalse hindamise tulemused näitasid, et kõigis kolmes võrdluses said kõrgemad hindepunktid mullad, mis olid rohumaa all. Raplamaal olid keskmised hindepunktid rohumaal 1,636 ja põllul 1,404, Tartumaa rohumaal 1,727 ja põllul 1,621, Valgamaa rohumaal 1,439 ja põllul 1,101. Maksimaalne võimalik hindamise skoor oli 2,0. Suurimad erinevused võrreldes haritava maaga olid rohumaa mulla värv ja agregaatide stabiilsus. Need näitajad olid kõikides võrdlustes paremad rohumaa muldadel. Lisaks oli mulla poorsus Tartu- ja Raplamaa võrdlustes parem rohumaa muldadel ning võrdne rohumaal ja põllul Valgamaal.

Laborianalüüside tulemused ühtisid visuaalse hindamisega ja kinnitasid rohumaa paremat kvaliteeti. Laborianalüüside tulemusel oli süsiniku sisaldus kõrgem rohumaa muldadel (keskmine Corg 16,48%) võrreldes haritavate põldudega (keskmine Corg 4,79%), mis ühtis visuaalsel hindamisel näitajaga mulla värv. Veest stabiilseid agregaatide oli rohumaa muldadel keskmiselt 69,09%, kuid haritavatel põldudel 48,66%. Üldine poorsus oli rohumaa muldadel keskmiselt 11,84% suurem kui haritavatel põldudel. Lisaks oli rohumaa muldadel keskmine maksimaalne veehoiuvõime 20,53% suurem kui põldudel, keskmine lasuvustihedus 47,08% madalam, keskmine üldlämmastiku sisaldus 171,70% kõrgem ja keskmine C:N suhe 27,92% laiem. Usutavalt väiksem penetromeetriline takistus oli sügavusel 25–50 cm.

Kõigis kolmes võrreldud kohas oli parema kvaliteediga muld rohumaa muldadel ning seda nii laborianalüüside kui visuaalse hindamisega. Kuigi visuaalne hindamine ei anna nii täpseid tulemusi, kui laborianalüüsid, ühtisid visuaalse ja laboratoorse hindamise tulemused ning

võib väita, et visuaalne hindamine sobib mulla kvaliteedi hindamiseks. Samas, ei ole kõik visuaalse hindamise juhendis toodud parameetrite määramine kõigile kättesaadavad ning nõuab spetsiifilisi vahendeid (penetromeetrilise takistuse määramine, happesuse ja liikuva süsiniku määramine), kuid ülejäänud parameetreid saab edukalt kasutada. Antud visuaalse hindamise läbiviimiseks peab mulla veesisaldus olema lähedal väliveevahutavusele, erinevused ei avaldu liialt kuiva ega liialt märja mulla puhul, ning adekvaatse tulemuse saamiseks peab hindajal olema palju praktilist kogemust.

Töö hüpotees peab antud uurimisalade kohta paika ning turvas- ja erodeeritud muldade katmine rohttaimedega parandab mulla kvaliteeti. Rohttaimedega kaetud mullad on aastaringselt ning pikaajaliselt taimkatte all, mille tulemusel väheneb turba lagunemine ning väheneb võimalus mulla erosiooni tekkeks.

KASUTATUD ALLIKAD

1. 08.13 Wet sieving apparatus- Operating instructions. (2008).
<https://www.eijkelkamp.com/download.php?file=fea78564> (30.03.2018).
2. 09.03 Hauben water permeameter. (2014).
<https://www.eijkelkamp.com/download.php?file=c3367737> (29.03.2018).
3. Agronoomia 2006. (2006). Jõgeva sordiaretuse instituut. Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Eesti Maaviljeluse instituut. Jõgeva.
file:///C:/Users/kasutaja/Downloads/Agronoomia_2006.pdf (04.05.2018).
4. Allik K. (2016). Mullakaitse meetmete rakendamine maaelu arengukavas..
http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/03/Allik_Mullakaitse-meetme-rakendamine-maaelu-arengukavas.pdf (01.03.2018).
5. Berglund, K. (1989). Yaankningpd mosstortjod. Sammanstillning av material frin Lidhult, Jonkopings Ian. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Avdelningen for lantbrukets hydroteknik, Avdelningsmed– No. 89,3. pp. 18. (In Swedish).
<https://pub.epsilon.slu.se/5122/> (01.03.2018).
6. Bot A, Bonites J. (2005). The importance of soil organic matter: key to drought– resistant soil and sustained food and production. FAO soils bulletin 80. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp 78.
7. Bronick, C.J., Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review.— *Geoderma*. Vol 124, pp. 3–22.
8. Chenu, C., Le Bissonnais, Y., Arrouays, D. (2000). Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. – *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 64. Issue. 4. pp. 1479-1486.
9. Chowaniak, M., Klima, K., Niemiec, M. (2016). Impact of slope gradient, tillage system, and plant cover on soil losses of calcium and magnesium. – *Journal of Elementology*. Vol. 21. Issue 2. pp. 361-372.
10. Dexter, A.R. (2004). Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter and effects on root growth. – *Geoderma* Vol. 120. Issue. 3-4. pp. 201-214.

11. Eesti maaelu arengukava 2014–2020. (2017). Maaeluministeerium.
<https://www.agri.ee/sites/default/files/content/arengukavad/mak-2014/mak-2014-arengukava-v3-2017-08-29.pdf> (01.03.2018).
12. Erodeeritud ja turvasmuldade omaduste muutumine. (2015). Põllumajandusuuringute keskus, mullaseire büroo. http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/Mullakaitse-uuring_2015_kokkuv%C3%B5te_kodulehele.pdf (20.02.2018).
13. Euroopas hävineb iga päev kolm ruutkilomeetrit mulda. (2017)
<https://maablogi.wordpress.com/2017/09/26/euroopas-havineb-iga-paev-kolm-ruutkilomeetrit-mulda/> (01.03.2018).
14. **Fageria, NK., Zimmermann, FJP.** (1998). Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an oxisol. – *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 29. Issue 17-18. pp. 2675-2682.
15. **Foldesi, P., Gyuricza, C., Miko, P., Nagy, E.** (2006). The effect of conventional tillage systems on soil compaction. – *Cereal Research Communications*. Vol. 34. Issue 1. pp. 175-178 Part. 1.
16. **Kasimir-Klmedtsson, A., Klmedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J., Oenema, O.** (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. – *Soil Use and Management*. Vol. 13. Issue 4. pp. 245-250.
17. **Kask, S.** (2014). Vedelsõnniku mõju erinevate rohukamarate saagile ja rohusilo kvaliteedile. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu.
<https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/1474> (04.05.2018).
18. **Krebstein, K., von Janowsky, K., Reintam, E., Horn, R., Leeduks, J., Kuht, J.** (2013). Soil compaction in a Cambisol under grassland in Estonia. – *Zemdirbyste- Agriculture*. Vol. 100. Issue. 1. pp. 33-38.
19. **Kull, A., Kull, A.** (2005). Mullaerosiooni modelleerimine Sipe valglas GISi abil USLE mudeli põhjal. – *Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat 34*. Tallinn, Eesti Entsüklopeediakirjastus, lk 101–113.
20. **Kull, A., Kull, A.** (2011). Eesti pikaajalise aasta keskmise mullaarakande modelleerimine GIS abil USLE mudeliga. EESTI MAAELU ARENGUKAVA 2007 – 2013 2. TELJE PÜSIHINDAMINE. Tartu Ülikool, Põllumajandusuuringute keskus.
<http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/erosioon2011.pdf> (04.05.2018).
21. **Köster, T., Penu, P., Kikas, T.** (2008). Erosiooniohtlikke muldade levik Eestis.
<http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/Erosiooniohtlike-muldade-levik-Eestis.pdf> (05.03.2018)

22. **Lal, R.** (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change- *Geoderma*. Vol. 123. pp. 1–22.
23. **Lal, R., Follet, F.** (2009). Priorities in soil carbon research in response to climate change. *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*, second ed. SSSA Special Publication 57.
24. **Lal, R., Follet, R.F., Stewart, B.A., Kimble, J.M.** (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. – *Soil Science* Vol. 172. pp. 943–956.
25. **Lauringson E., Astover A., Roostalu H., Kauer K., Talgre L., Penu P., Loide V.** (2015). Humusbilansi mudel taimekasvatuse jätkusuutlikkuse hindamise töövahendina. Eesti maaülikool. Põllumajandusuuringute keskus.
http://www.pikk.ee/upload/files/Lauringson_Astover_jt_Lopparuanne_Huumusbilansi_mudel_taimakasvatuse_jatkusuutlikkuse_hindamise_toovahendina.pdf (01.03.2018).
26. **Lemetti, I., Valdmaa, T., Puu, H., Pajur, H., Vassiljev, G., Taul, S., Penu, P., Tõnismäe, M., Hubel, H.** (2011). Maaparandus- vajadused ja võimalused. Teraviljafoorum 2011.
file:///C:/Users/kasutaja/Downloads/11_04xx_TVF_Maaparandus_vajadused_ja_voimalused.pdf (08.04.2018).
27. **Maljanen, M., Komulainen, V.M., Hytonen, J., Martikainen, P., Laine, J.** (2004). Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. – *Soil Biology & Biochemistry*. Vol. 36. issue 11. pp. 1801–1808.
28. **Mary, B., Recous, S., Darwls, D., Robin, D.** (1996). Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soils. – *Plant and Soil*. Vol. 181. pp. 71–82.
29. Mehlich 3 extraction protocol. (2016).
http://www.agroecologylab.com/uploads/2/7/2/8/27281831/mehlich3_extraction.pdf (29.03.2018).
30. Nitrogen Determination by Kjeldahl Method
https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173_EN.pdf (29.03.2018)
of soil organic matter. <http://www.fao.org/docrep/009/a0100e/a0100e04.htm#TopOfPage> (01.03.2018).
31. **Oldare, M., Pell, M., Svensson, K.** (2008). Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. – *Waste Management*, Vol. 28. pp. 1246–1253.
32. Optimeeritud kasvukohapõhine väetamine lähtuvalt keskkonna tundlikkusest erinevate taimetoiteelementide suhtes, baseerudes mullainfo elektroonilisel andmebaasil. (2015). Riikliku programmi “Põllumajanduslikud rakendusuuringud ja arendustegevus aastatel 2009–2014” lisa 4. Eesti maaülikool. Tartu.
http://www.pikk.ee/upload/files/LOPUARUANNE_Kuht.pdf (20.03.2018).

33. **Plaza-Bonilla, D., Alvaro-Fuentes, J., Cantero-Martinez, C.** (2014). Identifying soil organic carbon fractions sensitive to agricultural management practices. – *Soil and Tillage Research*. Vol. 139. pp. 19–22.
34. Põllumuldade tihenemise mõju taimede kasvule ja arengule ning tihenend muldade ulatusest Eestis- EESTI MAAELU ARENGUKAVA 2007 – 2013 2. TELJE PÜSIHINDAMINE. Põllumajandusuuringute Keskus, Mullaseire büroo. <http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/tihenemine2013.pdf> (02.03.2018).
35. **Reeves, DW.** (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. – *Soil & Tillage Research*. Vol. 43. Issue. 1-2. pp. 131-167.
36. **Reintam, E.** (2017). Mulla tihenemise mõju ja taaskobestamise võimalused. Eesti Maaülikool. http://www.etki.ee/taim/public/pdf/Ettekanded/Kartuliseminar2017/3Reintam_kartulipev.pdf (04.05.2018).
37. **Reintam, E., Kahu, G., Sulp, K., Sanches de Cima, D., Are, M., Luik, A.** (2015). Field management and fertilization effect on earthworms. – *Agronomy 2015*.
38. **Reintam, E., Trukmann, K., Kuht, J., Nugis, E., Edesi, L., Astover, A., Noormets, M., Kauer, K., Krebstein, K., Rannik, K.** (2009). Soil compaction effects on soil bulk density and penetration resistance and growth of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). – *ACTA Agriculturae Scandinavica section B- Soil and Plant Science*. Vol. 59 Issue. 3. pp. 265-272.
39. Riigi ilmateenistus, 2016. <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/> (20.03.2018).
40. **Rodrigo Comino, J. Iserloh, T. Lassu, T. Cerda, A. Keestra, S. D. Prosdoci, M. Brings, C. Marzen, M. Ramos, M. C. Senciales, J. M. Ruiz Sinoga, J. D. Seeger, M. Ries, J. B.** (2016). Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in Spanish and German vineyards. – *Science of the Total Environment*. Vol. 565. pp. 1165-1174.
41. **Rose M.T., Cavagnaro, T.R., Scanlan, C.A., Rose, T.J., Vancov, T., Kimber, S., Kennedy, I. R., Kookona, R.S., Van Zwieten, L.** (2016). Impact of Herbicides on Soil Biology and Function.- *Advances in Agronomy*. Vol. 136. pp. 133- 220.
42. **Räädam, R.** (2015). Keskkonna sõbraliku majandamise toetus. Põllumajandusministeerium. https://www.pikk.ee/upload/files/Keskkonnas%C3%B5braliku%20majandamise%20toetus_R_P%C3%A4%C3%A4dam.pdf (08.04.2018).
43. **Saha, D., Kukal, SS., Sharma, S.** (2011). Landuse impacts on SOC fractions and aggregate stability in typic ustochrepts of Northwest India. – *Plant and Soil*. Vol. 339. Issue. 1-2. pp. 457-470.

44. **Searle, BP., Sorensen, IB.** (2004). Soil compaction effects on early plant growth of squash. – *Agronomy New Zealand, Proceedings*. Vol. 34. pp. 177-182.
45. **Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R.** (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report, 65 lk.
46. Soostunud ja soomuldade orgaanilise süsiniku sisaldus ja vastavalt sellele 1:10 000 mullakaardi võimalik korrigeerimine. (2012). Põllumajandusuuringute keskuse mullaseire büroo. http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/PKT_hindamine_soomullad_2011_LYHL.pdf (01.03.2018)
47. **Taft, HE., Cross, PA., Edwards-Jones, G., Moorhouse, ER., Jones, DL.** (2017). Greenhouse gas emissions from intensively managed peat soils in an arable production system. – *Agriculture Ecosystems & Environment*. Vol. 237. pp. 162-172.
48. **Tamm, K., Vettik, R., Viil, P., Võsa, T.** (2016). Sõnnikulaotamise tehnoloogiate võrdlev uuring. Eesti Taimekasvatuse instituut. http://epkk.ee/wp-content/uploads/2016/11/Sõnnikulaotamise_tehnoloogiad_aruanne.compressed.pdf (04.05.2018).
49. **Tzanakakis, V., Sturite, I., Dorsch, P.** (2017). Biological nitrogen fixation and transfer in a high latitude grass-clover grassland under different management practices. – *Plant and soil*. Vol. 421. Issue. 1-2. pp. 107-122.
50. **van Leeuwen, M. M. W. J., Heuvelink, G. B. M., Wallinga, J., de Boer, I. J. M., van Dam, J. C., van Essen, E. A., Moolenaar, S. W., Verhoeven, F. P. M., Stoorvogel, J. J., Stoof, C. R.** (2018). Visual soil evaluation: reproducibility and correlation with standard measurements. – *Soil & Tillage Research*. Vol. 178. pp. 167-178.
51. **Verheijen, F., Jeffrey, S., Bastos, A.C., van der Velden, M., Diafas, I.** (2010). Biochar application to soils, European Communities, 166 lk.
52. **Vorobyova, L.A.** (1998). Chemical analysis of soils. Moscow: Moscow University Press. 272 pp.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Tõnis Klaasmägi,
sünniaeg 14/04/95

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö:
erinevate maakasutusviiside mõju turvas- ja erodeeritud muldade kvaliteedile kasutades
visuaalset hindamist,
mille juhendaja on Endla Reintam,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu,

kuupäev

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)